

**PEMANFAATAN PATI UMBI GARUT TERMODIFIKASI SEBAGAI *CARRIER*
FUNGSIONAL LOKAL UNTUK ENKAPSULASI EKSTRAK AMPAS
KOPI ARABIKA MELALUI *FREEZE DRYING***

SKRIPSI

Oleh

JASMINE HANNA ATHIYYAH



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

PEMANFAATAN PATI UMBI GARUT TERMODIFIKASI SEBAGAI *CARRIER*
FUNGSIONAL LOKAL UNTUK ENKAPSULASI EKSTRAK AMPAS
KOPI ARABIKA MELALUI *FREEZE DRYING*

Oleh

JASMINE HANNA ATHIYYAH
NIM : 23020122140195

Salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknologi Pangan pada Program Studi S-1 Teknologi Pangan
Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro

PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jasmine Hanna Athiyyah
NIM : 23020122140195
Program Studi : S-1 Teknologi Pangan

dengan ini menyatakan sebagai berikut :

1. Skripsi yang berjudul: **Pemanfaatan Pati Umbi Garut Termodifikasi Sebagai *Carrier* Fungsional Lokal Untuk Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika Melalui *Freeze Drying*** dan penelitian yang terkait dengan skripsi ini merupakan karya penulis sendiri.
2. Setiap ide atau kutipan dari karya orang lain berupa publikasi atau bentuk lainnya dalam skripsi ini, telah diakui sesuai dengan standar prosedur disiplin ilmu.
3. Penulis juga mengakui bahwa skripsi ini dapat dihasilkan berkat bimbingan dan dukungan penuh dari Pembimbing yaitu : **Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.** dan **Lutfi Purwitasari, S.T.P., M.Sc.**

Apabila di kemudian hari dalam skripsi ini ditemukan hal-hal yang menunjukkan telah dilakukannya kecurangan akademik maka penulis bersedia gelar sarjana yang telah penulis dapatkan ditarik sesuai dengan ketentuan dari Program Studi S-1 Teknologi Pangan, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro.

Semarang, April 2026

Penulis,



(Jasmine Hanna Athiyyah)

Mengetahui :

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

(Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.)

(Lutfi Purwitasari, S.T.P., M.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : PEMANFAATAN PATI UMBI GARUT
TERMODIFIKASI SEBAGAI *CARRIER*
FUNGSIONAL LOKAL UNTUK
ENKAPSULASI EKSTRAK AMPAS KOPI
ARABIKA MELALUI *FREEZE DRYING*

Nama Mahasiswa : JASMINE HANNA ATHIYYAH

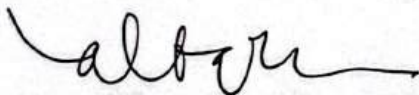
Nomor Induk Mahasiswa : 23020122140195

Program Studi/Departemen : S1 TEKNOLOGI PANGAN / PERTANIAN

Fakultas : PETERNAKAN DAN PERTANIAN

Telah disidangkan di hadapan Tim Penguji
dan dinyatakan lulus pada tanggal ... 8 JUN 2026

Pembimbing Utama



Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

Pembimbing Anggota



Lutfi Purwitasari, S.T.P., M.Sc.

Ketua Program Studi



Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

Ketua Panitia Ujian Akhir Program

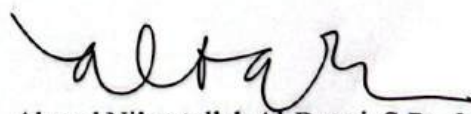


Swastika Dewi, S.T.P., M.Sc.



Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D.

Ketua Departemen



Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

RINGKASAN

JASMINE HANNA ATHIYYAH. 23020122140195. 2026. Pemanfaatan Pati Umbi Garut Termodifikasi Sebagai *Carrier* Fungsional Lokal Untuk Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika Melalui *Freeze Drying*. (Pembimbing: **AHMAD NI'MATULLAH AL-BAARRI** dan **LUTFI PURWITASARI**).

Ampas kopi arabika merupakan limbah yang masih mengandung senyawa bioaktif antioksidan, namun pemanfaatannya terbatas akibat stabilitasnya yang rendah terhadap faktor lingkungan. Salah satu upaya untuk meningkatkan stabilitas tersebut adalah melalui enkapsulasi. Keberhasilan enkapsulasi dipengaruhi oleh jenis *carrier*, di mana maltodekstrin umum digunakan sebagai *carrier* komersial. Oleh karena itu, pati umbi garut termodifikasi berpotensi dikembangkan sebagai *carrier* fungsional lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pati umbi garut termodifikasi dibandingkan maltodekstrin dalam enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika berdasarkan karakteristik fisik dan efisiensi enkapsulasi. Penelitian dilaksanakan bulan September 2025 – Februari 2026 di Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian, serta UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, Semarang.

Metode penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua perlakuan, yaitu enkapsulasi menggunakan pati umbi garut termodifikasi dan maltodekstrin. Prosedur meliputi ekstraksi ampas kopi, modifikasi pati umbi garut, serta enkapsulasi dengan metode *freeze drying*. Materi yang digunakan adalah ampas kopi arabika dan pati umbi garut. Parameter yang diamati mencakup rendemen, kadar air, kelarutan, dan efisiensi enkapsulasi. Data dianalisis menggunakan uji t dua sampel pada taraf kepercayaan 95% menggunakan IBM SPSS Statistics 25.0 *for Windows*. Analisis multivariat menggunakan *principal component analysis* (PCA) melalui Chemoface dan korelasi Spearman menggunakan Python untuk mengetahui hubungan antarparameter.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis *carrier* tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap rendemen dan efisiensi enkapsulasi, namun berpengaruh nyata ($p \leq 0,05$) terhadap kadar air dan kelarutan. Analisis PCA dan peta korelasi Spearman menunjukkan pemisahan karakteristik berdasarkan jenis *carrier*. Enkapsulat berbasis pati umbi garut termodifikasi terasosiasi dengan kadar air dan memiliki hubungan moderat dengan efisiensi enkapsulasi. Ini menunjukkan bahwa pati umbi garut termodifikasi berpotensi sebagai *carrier* alternatif dengan karakteristik yang sebanding dengan maltodekstrin.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt. karena atas nikmat rahmat dan karunia-Nya penulis diberi amanah dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan studi dengan judul "Pemanfaatan Pati Umbi Garut Termodifikasi Sebagai *Carrier* Fungsional Lokal Untuk Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika Melalui *Freeze Drying*" tepat pada waktunya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta saran sejak awal hingga akhir penyusunan skripsi ini;
2. Lutfi Purwitasari S.T.P., M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta saran kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini;
3. Ibu Yanis Annas dan Bapak Agung Subono selaku orang tua penulis atas do'a, kasih sayang, dukungan, serta pengorbanan yang tiada henti kepada penulis;
4. Dr. Bhakti Etza Setiani S.Pt., M.Sc. dan Masagus Haidir Tamimi, S.T.P., M.Sc., selaku dosen penguji, serta Swastika Dewi S.T.P., M.Sc., selaku dosen panitia, yang telah memberikan saran dan masukan yang konstruktif terkait isi, format, dan penulisan skripsi;
5. Prof. Sugiharto, S.Pt, M.Sc, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro;
6. Indofood Riset Nugraha periode 2025 – 2026 yang telah memberikan dukungan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik;
7. Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D. selaku Ketua Departemen Pertanian sekaligus Ketua Program Studi S-1 Teknologi Pangan;

8. Seluruh Dosen dan Staf Administrasi Program Studi Teknologi Pangan dan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro yang telah membantu penulis dalam proses belajar maupun pengurusan administrasi;
9. Hanif Maulana Farizi dan Lenggong Syifa Aulia selaku saudara penulis atas do'a, dukungan, serta motivasi yang senantiasa diberikan kepada penulis;
10. Zidni, Azwa, Laila, Cut, Ariella, Mira, serta orang terdekat yang senantiasa menemani, menjadi tempat berbagi cerita, dan mendengarkan keluh kesah penulis selama di perantauan;
11. Rekan penelitian penulis yang saling memberikan semangat, bertukar pikiran, dan kerjasama terhadap penelitian ini;
12. Diri sendiri yang telah berusaha bertahan dan terus melangkah hingga tahap ini meskipun dihadapkan pada rasa penat, jenuh, serta berbagai tantangan. Penulis mengucapkan terima kasih atas ketekunan dan keteguhan dalam menghadapi setiap proses, termasuk saat mengalami kegagalan dan harus mencoba kembali. Setiap usaha, pengorbanan, dan proses yang telah dilalui menjadi pembelajaran berharga. Semoga pengalaman ini dapat menjadi bekal untuk melangkah ke tahap kehidupan selanjutnya dengan lebih baik.

Penulis menyadari bahwa di dalam proses penyusunan skripsi ini memiliki kekurangan baik teknis penulisan maupun materi sehingga penulis mengharapkan kritik, saran, dan masukan yang bersifat membangun untuk perbaikan kedepannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun para pembaca pada umumnya.

Semarang, April 2026

Jasmine Hanna Athiyyah

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR ILUSTRASI.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Ampas Kopi Arabika	5
2.2. Umbi Garut	6
2.3. Pati Umbi Garut Termodifikasi	7
2.4. Ekstraksi	10
2.5. Enkapsulasi.....	10
2.6. Pengeringan Beku (<i>Freeze Drying</i>)	11
2.7. Parameter Pengujian	12
2.8. Analisis Komponen Utama	14
2.9. Peta Korelasi.....	15
BAB III. MATERI DAN METODE	17
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian	17
3.2. Materi Penelitian	17
3.3. Metode Penelitian	18
3.4. Analisis Data.....	29

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Rendemen	31
4.2. Kadar Air	34
4.3. Kelarutan	39
4.4. Efisiensi Enkapsulasi	42
4.5. Analisis Komponen Utama	46
4.6. Peta Korelasi	48
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	53
5.1. Simpulan	53
5.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	67
RIWAYAT HIDUP	80

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Rancangan Percobaan Ekstrak Ampas Kopi Arabika Terenkapsulasi	18

DAFTAR ILUSTRASI

Nomor	Halaman
1. Ampas Kopi Arabika.....	5
2. Umbi Garut	7
3. Representasi Koefisien Korelasi.....	16
4. Kerangka Pikir Penelitian	20
5. Diagram Alir Pembuatan Ekstrak Ampas Kopi Arabika	22
6. Diagram Alir Pembuatan Tepung Pati Umbi Garut Termodifikasi	24
7. Diagram Alir Pembuatan Tepung Pati Umbi Garut Termodifikasi (Lanjutan).....	25
8. Diagram Alir Pembuatan Enkapsulat Ekstrak Ampas Kopi Arabika	27
9. Pengaruh Jenis <i>Carrier</i> Terhadap Rendemen Enkapsulat Ekstrak Ampas Kopi.....	31
10. (a) Ekstrak Ampas Kopi Arabika; (b) Pati Umbi Garut Termodifikasi; Ekstrak Ampas Kopi Terenkapsulasi (c) Maltodekstrin; (d) Pati Umbi Garut Termodifikasi	34
11. Pengaruh Jenis <i>Carrier</i> Terhadap Kadar Air Enkapsulat Ekstrak Ampas Kopi.....	35
12. Pengaruh Jenis <i>Carrier</i> Terhadap Kelarutan Enkapsulat Ekstrak Ampas Kopi.....	39
13. Pengaruh Jenis <i>Carrier</i> Terhadap Efisiensi Enkapsulasi Enkapsulat Ekstrak Ampas Kopi	43
14. PCA Biplot Ekstrak Ampas Kopi Arabika Terenkapsulasi.....	46
15. Koefisien Korelasi Spearman (r_s) Enkapsulat Ekstrak Ampas Kopi Berbasis Maltodekstrin	49
16. Koefisien Korelasi Spearman (r_s) Enkapsulat Ekstrak Ampas Kopi Berbasis Pati Umbi Garut Termodifikasi.....	51

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Perhitungan Rendemen.....	67
2. Perhitungan Kadar Air	68
3. Perhitungan Kelarutan	69
4. Perhitungan Efisiensi Enkapsulasi.....	70
5. Perhitungan Efisiensi Enkapsulasi Lanjutan	71
6. Output SPSS Uji Rendemen	72
7. Output SPSS Uji Kadar Air	73
8. Output SPSS Uji Kelarutan	74
9. Output SPSS Uji Efisiensi Enkapsulasi	75
10. Dokumentasi Penelitian	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Meningkatnya konsumsi kopi di Indonesia berkontribusi terhadap peningkatan jumlah limbah ampas kopi. Produksi kopi nasional didominasi oleh kopi robusta, sedangkan kopi arabika menyumbang sekitar 25% dari total produksi (BPS, 2024). Pemanfaatan komersial tanaman kopi hingga saat berfokus pada bijinya sebagai minuman dan pangan (Fibrianto *et al.*, 2020), sehingga sebagian besar ampas kopi belum dimanfaatkan secara optimal. Sekitar 90% limbah ampas kopi dibuang tanpa pengolahan lebih lanjut, sementara sekitar 10% lainnya dimanfaatkan sebagai pupuk, bahan biobriket, dan pakan ternak (Widyasanti dan Ariva, 2020). Padahal, ampas kopi masih mengandung senyawa antioksidan yang berpotensi dikembangkan menjadi produk bernilai tambah.

Antioksidan merupakan senyawa bioaktif yang berperan dalam mencegah stres oksidatif dan kerusakan sel. Ampas kopi masih mengandung kafein, senyawa fenolik, flavonoid, melanoidin, serta vitamin. Dari berbagai jenis, ampas kopi arabika dalam bentuk ekstrak mengandung total fenol sebesar 6,32 mg GAE/g yang lebih tinggi dibandingkan ampas kopi robusta sebesar 4,81 mg GAE/g (Ramalakshmi *et al.*, 2009). Selain itu, kopi arabika memiliki indeks aktivitas antioksidan (AAI) dan kapasitas antiradikal lebih tinggi dibandingkan kopi robusta (Hasbullah dan Umiyati, 2021). Meskipun potensial, senyawa ini mudah terdegradasi akibat paparan oksigen, cahaya, atau suhu tinggi.

Salah satu upaya untuk menjaga stabilitas senyawa bioaktif dan memperpanjang umur simpan adalah melalui teknik enkapsulasi. Enkapsulasi merupakan teknik pelapisan senyawa aktif menggunakan bahan pelindung yang menghasilkan produk berbentuk serbuk dengan kadar air rendah serta meningkatkan kemudahan penanganan, penyimpanan, dan kelarutan senyawa aktif (Aminah dan Hersoelistyorini, 2021). Selain itu, keberhasilan proses enkapsulasi dapat dievaluasi melalui karakteristik fisik dan efisiensi enkapsulasi produk yang dihasilkan. Salah satu metode yang umum digunakan adalah *freeze drying* karena berlangsung pada suhu rendah dan kondisi vakum sehingga mampu mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif lebih baik dibandingkan metode pengeringan konvensional. Penelitian do Carmo *et al.* (2022) menunjukkan bahwa enkapsulasi ekstrak kopi hijau dengan *freeze drying* menghasilkan kandungan total fenol dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan *spray drying*.

Carrier yang umum digunakan dalam proses enkapsulasi diantaranya adalah maltodekstrin, CMC, gum, pati alami, dan pati termodifikasi (Akbar *et al.*, 2024; Gonardi *et al.*, 2022; Miskiyah *et al.*, 2020; Rahayu dan Utami, 2026). Pati merupakan polisakarida yang ketersediaannya melimpah, terjangkau, terurai secara hayati, dan sifat fungsionalnya baik. Salah satu sumber pati yang berpotensi digunakan sebagai *carrier* adalah umbi garut. Umbi garut (*Maranta arundinaceae* L.) mengandung 16 – 25% pati dan kadar amilosa 24,95% yang mampu membentuk matriks yang stabil dan kuat (Malki *et al.*, 2023). Studi Charles *et al.* (2021) menunjukkan bahwa pati umbi garut efektif sebagai *carrier* minyak ikan tuna

dengan efisiensi enkapsulasi tinggi serta mampu meningkatkan stabilitas oksidatif dan umur simpan.

Modifikasi pati dilakukan untuk meningkatkan sifat fungsional sebagai *carrier*, salah satunya melalui hidrolisis asam (lintnerisasi) yang dilanjutkan pemanasan dan pendinginan. Peningkatan kadar amilosa menghasilkan matriks yang lebih padat, sehingga meningkatkan efektivitasnya dalam melindungi senyawa bioaktif. Winarti dan Sunarti (2022) melaporkan bahwa ekstrak kurkumin terenkapsulasi nanopartikel pati garut termodifikasi (lintnerisasi dan presipitasi etanol) menunjukkan stabilitas terhadap panas dan sinar matahari lebih baik dibandingkan maltodekstrin. Tepung termodifikasi memiliki kemampuan pengikatan tinggi dan bersifat amfifilik sehingga berpotensi digunakan sebagai *carrier* bahan aktif (Yeni *et al.*, 2018).

Beragam penelitian telah mengevaluasi efektivitas enkapsulasi senyawa bioaktif dari limbah pangan dengan beragam *carrier* (Ballesteros *et al.*, 2017; Aprilsa *et al.*, 2025; Wiriani *et al.*, 2020; Kistriyani *et al.*, 2020). Namun, hingga saat ini belum ditemukan literatur yang secara spesifik mengkaji penggunaan pati umbi garut termodifikasi sebagai *carrier* fungsional berbasis bahan lokal untuk enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika melalui *freeze drying*. Padahal, pendekatan ini berpotensi menghasilkan enkapsulat yang stabil dan dapat diaplikasikan sebagai bahan fungsional pada produk pangan dan minuman (do Carmo *et al.*, 2022; Tyastiningrum *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik fisik dan efisiensi enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika menggunakan *carrier* pati umbi garut termodifikasi dibandingkan

maltodekstrin. Parameter yang diamati meliputi rendemen, kadar air, kelarutan, dan efisiensi enkapsulasi, serta dianalisis lebih lanjut menggunakan *principal component analysis* (PCA) dan peta korelasi.

1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fisik enkapsulat ekstrak ampas kopi arabika hasil *freeze drying* meliputi rendemen, kadar air, kelarutan, dan efisiensi enkapsulasi, serta mengkaji potensi pati umbi garut termodifikasi sebagai alternatif maltodekstrin. Hubungan antarparameter dan pengelompokan karakteristik enkapsulat dianalisis menggunakan analisis komponen utama (PCA) dan peta korelasi.

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi ilmiah mengenai pengaruh jenis *carrier* terhadap karakteristik fisik enkapsulat ekstrak ampas kopi arabika serta memberikan alternatif penggunaan *carrier* berbasis pati lokal. Selain itu, penelitian ini mendukung pemanfaatan limbah ampas kopi arabika sebagai sumber senyawa bioaktif bernilai tambah dan referensi bagi penelitian selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ampas Kopi Arabika

Kopi arabika (*Coffea arabica*) merupakan kopi yang berasal dari hutan pegunungan di Etiopia, Afrika dengan citarasa lebih ringan dibanding kopi robusta. Kopi arabika mengandung trigonelin (N-metilnikotinat), senyawa alkaloid pembentuk aroma saat pemanggangan yang lebih tinggi dari kopi robusta (Hasbullah dan Umiyati, 2021). Nurulkharomah (2016) menyatakan bahwa kopi mengandung antioksidan empat kali lebih tinggi dibandingkan teh maupun sumber antioksidan lainnya. Kopi arabika seduh mengandung 0,9-1,6% kafein sementara biji mentah arabika mengandung 1,2% kafein (Hastuti, 2018). Ampas kopi merupakan limbah biomassa dengan kadar air tinggi (80-85%) dari kopi yang telah diseduh dengan air panas atau uap. Ampas kopi umumnya dijadikan sebagai pupuk organik, pakan ternak, atau dibuang begitu saja. Ampas kopi arabika ditampilkan pada Ilustrasi 1. Ampas kopi masih mengandung berbagai senyawa bioaktif.



Ilustrasi 1. Ampas Kopi Arabika
Sumber: Data Penelitian, 2026

Ampas kopi mengandung senyawa bioaktif seperti kafein dan senyawa fenolik berupa asam klorogenat (CGA), termasuk 5-caffeoylquinic acid (5-CQA),

serta asam kafeat sebagai sumber antioksidan. Total kandungan fenolik (TPC) ampas kopi arabika kering berkisar antara 0,41 – 0,53 mg GAE/g berat kering (Andrade *et al.*, 2022). Antioksidan berpotensi meningkatkan sensitivitas insulin dan mengurangi risiko berbagai penyakit degeneratif. Asyraf dan Hayati (2024) menyatakan bahwa ampas kopi arabika mengandung volatil terikat glikosida (*glycosidically bound volatiles*), pirol, sikloketon, piridina, dan piran yang turut membentuk aroma pascapanen dan pemanggangan. Oleh karena itu, ampas kopi arabika berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber senyawa bioaktif melalui proses enkapsulasi untuk aplikasi pangan fungsional.

2.2. Umbi Garut

Umbi garut (*Maranta arundinaceae* L.) merupakan tanaman dari famili *Marantaceae* yang tumbuh di bawah permukaan tanah dan telah lama dimanfaatkan secara tradisional, terutama sebagai bahan pengobatan gangguan pencernaan, dikenal sebagai *Hulankeeriya* atau *Aerukka* di negara Sri Lanka. Umbi garut secara turun-menurun telah dikonsumsi sebagai sumber karbohidrat di Indonesia, khususnya di Pulau Jawa dan Sulawesi. Umbi garut ditampilkan pada Ilustrasi 2. Umbi garut memiliki nilai indeks glikemik sebesar 14 yang tergolong rendah sehingga baik untuk dikonsumsi oleh penderita diabetes melitus dan dispepsia (Rohandi, 2021). Umbi garut mengandung 92,40% total padatan, 0,72% protein, 88,70% karbohidrat, 0,26% lemak, 1,12% abu, dan 10,87% air (Malki *et al.*, 2023). Tepung umbi garut berwarna putih, bertekstur halus, dan tidak berbau.



Ilustrasi 2. Umbi Garut
Sumber: Setyaningrum dan Adi, 2022

2.3. Pati Umbi Garut Termodifikasi

Pati merupakan polisakarida penyusun utama karbohidrat dalam bahan pangan. Granula pati terdiri atas amilosa dan amilopektin. Amilosa memiliki struktur linear dengan ikatan α -(1,4)-D-glukosa, sementara amilopektin memiliki struktur bercabang dengan ikatan α -(1,6)-D-glukosa. Rantai pendek amilopektin dapat membentuk struktur *double helix* yang menyusun daerah kristalin, sementara daerah amorf disusun oleh titik percabangan amilopektin. Sementara itu, amilosa sebagian besar berada di daerah amorf dibandingkan kristalin. Umbi garut segar mengandung pati sebesar 16–25% dengan kadar amilosa 24,95%, sedangkan pati garut hasil ekstraksi memiliki kadar pati sebesar 66% dan kristalin rendah sebesar 29,10% (Malki *et al.*, 2023; Firdaus *et al.*, 2025). Berdasarkan kadar amilosa, pati diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu amilosa rendah (12–20%), amilosa sedang (20–24%), dan amilosa tinggi (>24%). Penelitian lain melaporkan kadar amilosa umbi garut mencapai 40,86%, lebih tinggi dibandingkan pati sumber lain seperti singkong (16-19%) dan kentang (18-20%) (Tarique *et al.*, 2022). Kandungan amilosa yang tinggi memungkinkan pati umbi garut membentuk matriks yang lebih padat dan stabil sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan *carrier* pelindung.

Pati umbi garut memiliki kapasitas serap kelembaban rendah, viskositas tinggi, suhu gelatinisasi sebesar $76 \pm 2^\circ\text{C}$, dan kurang larut dalam air pada suhu ruang (27°C) (Malki *et al.*, 2023). Sifat ini membatasi penggunaannya pada sistem pangan yang tidak melibatkan pemanasan. Modifikasi diperlukan untuk meningkatkan stabilitas dan memperbaiki sifat fungsionalnya, meliputi penurunan viskositas dan *swelling power*, serta peningkatan kelarutan (Anggraeni *et al.*, 2017). Salah satu metode modifikasi yang efektif dilakukan melalui kombinasi hidrolisis asam parsial (*lintnerized starch*) dan pemanasan-pendinginan.

Pada tahap lintnerisasi, pati dihidrolisis menggunakan asam klorida kemudian dinetralisasi dan dikeringkan. Amilosa umumnya memiliki bobot molekul $10^3 - 5 \times 10^5$ Dalton. Asam klorida merupakan katalisator asam kuat yang dapat memutus fraksi amilosa rantai panjang dan titik percabangan α -1,6 rantai amilopektin. Reaksi berlangsung pada daerah amorf yang lebih renggang, sehingga asam berdifusi dengan kecepatan tinggi melalui pori-pori granula dengan membentuk saluran 'dari luar ke dalam', juga dapat mengakses daerah kristalin pada kondisi tertentu (Faridah *et al.*, 2010; Aparicio-Saguilán *et al.*, 2015; Yeni *et al.*, 2018). Proses hidrolisis ini menghasilkan nano kristalin dengan fragmen rantai amilosa yang lebih pendek dan menurunkan berat molekul polimer. Hidrolisis asam (*lintnerized starch*) mendukung pembentukan pati resisten tipe 3 (RS3) (Raungrusmee dan Anal, 2019).

Setelah hidrolisis, suspensi pati dipresipitasi menggunakan etanol untuk menghentikan reaksi serta memisahkan pati dari medium asam. Penambahan etanol menurunkan polaritas medium sehingga mengurangi hidrasi sehingga terbentuk endapan pati. Kombinasi hidrolisis asam, pengadukan konstan, dan presipitasi

etanol dapat menghasilkan pati berukuran kecil (100-250 nm) dengan kelarutan air yang lebih rendah (Panjaitan *et al.*, 2019; Sunarti *et al.*, 2020). Air memfasilitasi hidrolisis dan melemahkan struktur kristalin sementara etanol menekan hidrasi berlebih sehingga pembengkakan granula dihambat (Ulyarti *et al.*, 2022).

Tahap selanjutnya adalah pemanasan suhu tinggi bertekanan (121 °C) diikuti pendinginan suhu rendah. Pemanasan bertekanan tinggi menyebabkan gelatinisasi pati, yaitu rusaknya struktur luar amilopektin daerah kristalin akibat melemahnya ikatan kovalen dan hidrogen struktur *double helix* sehingga granula mengembang dan amilosa terlepas (*leaching*) dan terlarut, sementara sebagian lamela kristalin yang lebih stabil turut meleleh (Hastuti *et al.*, 2015; Aparicio-Saguilán *et al.*, 2015).

Pati yang telah tergelatinisasi difraksinasi dengan n-butanol dan diaduk perlahan selama 72 jam untuk memisahkan fasa amilosa dan amilopektin. Amilosa yang telah terekspos membentuk kompleks inklusi dengan n-butanol dan mengendap secara selektif sehingga fraksi kaya amilosa, sementara amilopektin tetap di fasa larut (Winarti *et al.*, 2014; Haryanti *et al.*, 2014). Amilosa larut dalam air, sedangkan amilopektin tidak larut dalam air tetapi larut n-butanol, sehingga memungkinkan pemisahan amilosa dari amilopektin dalam bentuk endapan (Sondari *et al.*, 2021).

Selama pembekuan, sebagian molekul amilosa yang telah terlepas berasosiasi kembali dan membentuk struktur kristalin melalui proses retrogradasi. Retrogradasi pati merupakan proses reorganisasi molekul pati selama pendinginan yang menghasilkan struktur yang lebih teratur dan stabil akibat pembentukan kembali ikatan hidrogen antara amilosa dan amilopektin (Kean, 2021). Molekul amilosa

yang terlepas saat gelatinisasi dapat membentuk heliks ganda baru yang kemudian beragregasi menjadi daerah kristalin, dengan laju retrogradasi yang meningkat pada suhu penyimpanan sekitar 4 °C (Syahbanu *et al.*, 2023)

2.4. Ekstraksi

Ekstraksi merupakan proses pemisahan suatu senyawa dari bahan menggunakan bantuan pelarut. Proses ekstraksi bertujuan untuk memperoleh dan mengkonsentrasikan senyawa bioaktif yang terkandung dalam bahan. Metode ekstraksi yang digunakan adalah maserasi, yaitu proses pengikatan senyawa aktif berdasarkan prinsip kelarutan dalam pelarut dengan polaritas sejenis (*like dissolves like*) melalui perendaman bahan dalam pelarut (Abadi, 2021). Secara umum, digunakan akuades atau etanol sebagai pelarut polar maupun heksana sebagai pelarut non polar kemudian disaring dan diuapkan. Etanol sebagai pelarut bersifat polar, aman digunakan pada pangan (*food grade*), dan efektif mengekstrak senyawa bioaktif seperti fenolik dan flavonoid. Menurut Juliantari *et al.* (2018), semakin tinggi konsentrasi pelarut maka semakin tinggi kemampuannya dalam mengikat senyawa bioaktif yang terkandung dalam bahan. Selain itu, hasil ekstraksi juga dipengaruhi ukuran partikel, suhu, dan waktu ekstraksi (Fibrianto *et al.*, 2020).

2.5. Enkapsulasi

Enkapsulasi merupakan proses penyalutan bahan aktif (*core*) ke dalam bahan pembawa (*carrier*) yang kemudian membentuk struktur matriks sebagai struktur penyalut. Enkapsulasi bertujuan untuk mengatur pelepasan inti bahan pada kondisi tertentu dan meminimalisir kerusakan bahan akibat paparan panas, cahaya, oksigen,

maupun perubahan fisikokimia selama penyimpanan (Fajrin *et al.*, 2025). Produk hasil enkapsulasi menunjukkan stabilitas yang lebih baik terhadap pengaruh lingkungan, umur simpan yang lebih panjang, serta menghasilkan produk kering dengan bobot yang lebih ringan (Feliatra *et al.*, 2023).

Pada industri pangan, proses enkapsulasi dilakukan untuk mempertahankan sifat organoleptik bahan, meliputi warna, rasa, dan aroma, serta menghasilkan karakteristik tekstur tertentu dan mengendalikan pelepasan aroma. Proses enkapsulasi diawali dengan pencampuran bahan inti dan bahan *carrier* hingga terbentuk emulsi kemudian dilanjutkan dengan proses pengeringan. Metode enkapsulasi diantaranya *spray drying*, *freeze drying*, *coacervation*, dan ekstrusi (Ramadhani *et al.*, 2024; Fitriani *et al.*, 2019; Manaf *et al.*, 2018; Elida *et al.*, 2020).

2.6. Pengeringan Beku (*Freeze Drying*)

Freeze drying (liofilisasi) merupakan pengeringan beku melalui mekanisme sublimasi, yaitu perubahan dari air padat (es) menjadi uap tanpa melewati fase cair, kemudian dilanjutkan pelepasan air yang masih terikat pada lapisan kering. *Freeze drying* berlangsung pada suhu rendah pada kondisi vakum sehingga mengurangi risiko oksidasi (Charles *et al.*, 2021). Selain itu, *freeze drying* mampu mempertahankan senyawa antioksidan yang bersifat termolabil sehingga stabilitas lebih terjaga dibandingkan metode *oven-drying* dan *spray-drying* (Fitri *et al.*, 2020).

Tahapan *freeze drying* meliputi pembekuan, sublimasi, dan desorpsi. Bahan inti dan *carrier* terlebih dahulu dicampur melalui pengadukan hingga homogen kemudian dilakukan *pre-treatment* berupa pembekuan di suhu -30 °C freezer.

Selanjutnya, sampel beku dimasukkan ke alat *freeze dryer* dengan suhu kondensor -40 °C untuk menghilangkan air melalui proses sublimasi es pada tekanan rendah, kemudian diikuti pelepasan molekul air yang masih terikat melalui tahap desorpsi (Haris *et al.*, 2025). Air dalam bahan terdiri atas air bebas yang membeku dan air terikat pada matriks bahan serta tidak mengalami pembekuan. Proses *freeze drying* bertujuan menghilangkan air beku dan sebagian air terikat untuk menghasilkan produk dengan kadar air lebih rendah (Pawestri dan Syahbanu, 2023). Produk hasil *freeze drying* berupa padatan dengan struktur berpori dan rapuh (*cake*).

2.7. Parameter Pengujian

Parameter penelitian meliputi parameter kuantitatif yaitu rendemen, kadar air, kelarutan, dan efisiensi enkapsulasi enkapsulat.

2.7.1. Rendemen

Rendemen merupakan persentase perbandingan berat produk akhir dengan bahan baku yang dinyatakan dalam persen (Fitriyah *et al.*, 2021). Rendemen menunjukkan efektivitas dari metode proses yang digunakan. Nilai rendemen yang tinggi menunjukkan pemanfaatan bahan yang optimal (Miskiyah *et al.*, 2020). Pada enkapsulasi, rendemen menunjukkan persentase produk enkapsulat yang diperoleh dibandingkan dengan total bahan awal.

2.7.2. Kadar Air

Kadar air berdasarkan metode gravimetri (AOAC, 2005) bekerja dengan prinsip pengeringan bahan dalam oven suhu 105 °C hingga berat konstan. Semakin

rendah kadar air menunjukkan semakin rendah uap air yang diserap oleh enkapsulat. Produk bubuk dengan kadar air rendah memiliki ketahanan produk yang tinggi dan kontaminasi mikrobiologis yang rendah. Indiarto *et al.* (2022) menyatakan bahwa kadar air berhubungan terbalik dengan kelarutan, yaitu semakin tinggi kadar air maka semakin rendah kelarutan. Hal ini terjadi karena produk dengan kadar air tinggi membentuk butiran besar yang tidak berpori sehingga waktu yang dibutuhkan untuk memecah ikatan antartikel semakin lama dan kemampuan produk untuk larut menurun.

2.7.3. Kelarutan

Kelarutan merupakan konsentrasi zat terlarut dalam larutan jernih hingga tercapai kondisi larutan homogen. Endapan yang terbentuk menunjukkan fraksi tidak larut, sedangkan *solubility index* merepresentasikan bagian yang larut dalam air (Yousf *et al.*, 2017). Kelarutan menunjukkan pelepasan polisakarida dari butiran dan melepaskan bahan aktif saat diaplikasikan (Khasanah *et al.*, 2015). Kelarutan tinggi merupakan sifat yang diharapkan saat produk bubuk diaplikasikan pada bidang pangan. Semakin tinggi kelarutan menunjukkan semakin tinggi kualitas produk karena cepat terdispersi.

2.7.4. Efisiensi Enkapsulasi

Efisiensi enkapsulasi merupakan parameter penting untuk mengevaluasi kemampuan bahan dinding dalam mengenkapsulasi dan melindungi senyawa bioaktif. Menurut Aminah dan Hersoelistyorini (2021), *carrier* yang baik mampu

melindungi senyawa inti, menjaga stabilitas, dan menutupi rasa yang tidak diinginkan. Efisiensi enkapsulasi dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah senyawa bioaktif yang terenkapsulasi dengan jumlah senyawa bioaktif awal sebelum proses enkapsulasi. Semakin tinggi nilai efisiensi enkapsulasi maka semakin efektif *carrier* dalam menyalut senyawa bioaktif sehingga menunjukkan proses enkapsulasi sudah berjalan dengan baik (Wulandari *et al.*, 2019).

2.8. Analisis Komponen Utama

Analisis multivariat diukur menggunakan *principal component analysis* (PCA), yaitu metode statistik yang mengubah data dengan banyak variabel yang saling berkorelasi menjadi beberapa komponen baru yang tidak saling berkorelasi dengan tetap mempertahankan sebagian besar informasi data. PCA bertujuan menyederhanakan data ke dalam sejumlah kecil komponen utama, sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik atau pola yang membedakan antarobjek atau perlakuan (Sianipar *et al.*, 2016; Imamura *et al.*, 2017).

Sebelum data diolah dengan PCA, seluruh variabel distandarisasi menggunakan normalisasi *z-score* agar pengaruh perbedaan skala dapat dihilangkan (Granato *et al.*, 2018). Analisis PCA disajikan berdasarkan matriks korelasi, dan dua komponen utama pertama (PC1 dan PC2) digunakan untuk menampilkan distribusi sampel secara visual. Hasil analisis PCA divisualisasikan melalui biplot menjelaskan hubungan antarvariabel serta modifikasinya. Pada grafik PCA, korelasi antarvariabel terlihat dari posisinya dimana variabel yang berdekatan sepanjang komponen utama menunjukkan hubungan yang kuat, sedangkan variabel

yang berjauhan menunjukkan korelasi yang lemah atau berlawanan. Hubungan antarvariabel juga diinterpretasikan berdasarkan kedekatan sudut antarvektor. Menurut Nie (2025), sudut mendekati 0° atau kurang dari 90° menunjukkan korelasi positif, sudut mendekati 90° menunjukkan tidak adanya korelasi, sedangkan sudut lebih besar dari 90° atau 180° menunjukkan korelasi negatif.

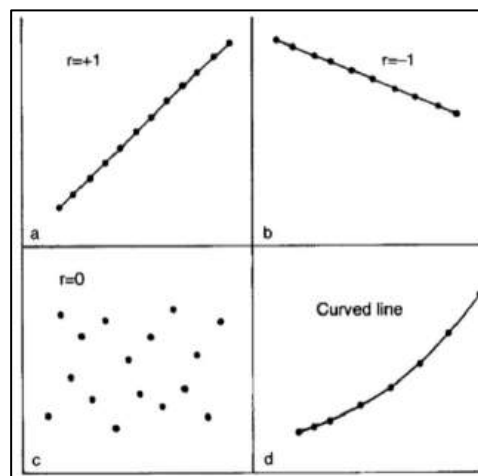
2.9. Peta Korelasi

Heatmap korelasi merupakan metode yang memvisualisasikan dataset menjadi variabel-variabel yang saling berhubungan. Menurut Leni *et al.* (2023), *heatmap* korelasi mengidentifikasi hubungan antar dua atau lebih variabel sebagai diagram berwarna yang menunjukkan nilai koefisien korelasi (r). Analisis korelasi terdiri atas korelasi Pearson dan korelasi Spearman. Apabila data normal maka diuji parametrik menggunakan korelasi Pearson (r) yang mengukur hubungan linear antara dua variabel kontinu, sedangkan apabila terdapat salah satu data tidak terdistribusi normal maka diuji nonparametrik korelasi Spearman (r_s) yang diukur berdasarkan peringkat data (Akoglu, 2018).

Heatmap menunjukkan tingkat korelasi antarvariabel sehingga dapat diketahui faktor-faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon. Nilai *r-squared* bernilai antara -1 sampai 1. Nilai 0 menunjukkan tidak ada korelasi, 0 hingga +1 menunjukkan korelasi positif, sementara 0 hingga -1 menunjukkan korelasi negatif (Mukaka, 2012). Korelasi positif menunjukkan bahwa peningkatan suatu parameter diikuti oleh peningkatan parameter lainnya.

Sebaliknya, korelasi negatif menunjukkan hubungan berlawanan arah, yaitu peningkatan suatu parameter diikuti penurunan parameter lain (Swinscow, 1997).

Nilai r mendekati 1 menunjukkan hubungan kuat sementara nilai r mendekati 0 menunjukkan hubungan lemah atau tidak terdapat hubungan antarparameter. Menurut Indiartha *et al.* (2022), nilai $r = 0,00$ menunjukkan tidak ada korelasi; 0,01-0,20 menunjukkan korelasi sangat lemah; 0,21-0,40 menunjukkan korelasi lemah; 0,41-0,60 menunjukkan korelasi sedang; 0,61-0,80 menunjukkan korelasi kuat; dan 0,81-1,00 menunjukkan korelasi sangat kuat. Korelasi sangat kuat menunjukkan bahwa perubahan suatu variabel sangat berkaitan dengan perubahan variabel lain. Analisis korelasi mempermudah pengambilan keputusan dan membantu menemukan data yang berbeda (*outlier*) (Liu *et al.*, 2025). Representasi koefisien korelasi ditampilkan pada Ilustrasi 3.



Ilustrasi 3. Representasi Koefisien Korelasi
Sumber: Swinscow, 1997

BAB III

MATERI DAN METODE

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2025 – Februari 2026 di Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang, dan UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

3.2. Materi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu ampas kopi arabika dari hasil penyeduhan dengan menggunakan alat espresso yang diperoleh dari Cafe' Lampian, Fakultas Peternakan dan Pertanian UNDIP, tepung umbi garut, etanol 90%, etanol 96%, akuades, 2,2 N HCl, 1 N NaOH, dan n-butanol. Alat yang digunakan dalam pembuatan ekstrak ampas kopi terenkapsulasi yaitu *waterbath* (Memmert, Germany), *vacuum filtration*, *vacuum pump*, kertas saring kasar, kertas Whatman No 1, *rotary vacuum evaporator* (BIOBASE, China), *incubator rocking shaker*, sentrifugasi (OHAUS, USA), *cabinet dryer*, autoklaf (Hirayama, Japan), *homogenizer* (IKA Ultra-Turrax, Germany), *freeze dryer* (BIOBASE, China), *hotplate stirrer* (B-One, China), *magnetic stir bar*, pH meter (OHAUS, USA), kertas lakmus, mesh 60, *freezer*, refrigerator, cawan petri, timbangan analitik, gelas beaker, gelas ukur, erlenmeyer, *centrifuge tube*, pipet tetes, corong gelas,

termometer batang, aluminium foil, *cling wrap*, wadah kedap udara, *ziplock* aluminium, *cup polypropylene*, silika gel, dan label.

Bahan yang digunakan untuk analisis adalah etanol *pro analysis*, asam galat, Folin-Ciocalteu, Na_2CO_3 , dan akuades. Alat yang digunakan untuk analisis yaitu timbangan analitik, cawan porselin, desikator, *rocking shaker*, sentrifugasi (OHAUS, USA), *centrifuge tube*, oven kadar air (PRIO, Indonesia), tang krusibel, gelas beaker, erlenmeyer, pipet volume, *vortex*, spektrofotometer UV-Vis, kuvet, aluminium foil, dan label.

3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri dari rancangan percobaan, prosedur penelitian, pengujian parameter, dan analisis data yang diperoleh dari hasil percobaan. Materi sebagaimana di atas diuraikan sebagai berikut.

3.3.1. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 perlakuan dan 3 ulangan sehingga diperoleh 6 unit percobaan. Perlakuan ditentukan berdasarkan perbedaan jenis *carrier* pada proses enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika, yaitu pati umbi garut termodifikasi dan maltodekstrin. Rancangan percobaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Percobaan Ekstrak Ampas Kopi Arabika Terenkapsulasi

Perlakuan	Ulangan		
	U1	U2	U3
P0	P0U1	P0U2	P0U3
P1	P1U1	P1U2	P1U3

Keterangan:

P0 = Ekstrak Ampas Kopi Arabika Terenkapsulasi Maltodekstrin

P1 = Ekstrak Ampas Kopi Arabika Terenkapsulasi Pati Umbi Garut Termodifikasi

Hipotesis empiris yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

H0 : tidak terdapat perbedaan rata-rata nilai rendemen, kadar air, kelarutan, dan efisiensi enkapsulasi antara enkapsulat yang menggunakan *carrier* pati umbi garut termodifikasi dan maltodekstrin.

H1 : Terdapat perbedaan rata-rata nilai rendemen, kadar air, kelarutan, dan efisiensi enkapsulasi antara enkapsulat yang menggunakan *carrier* pati umbi garut termodifikasi dan maltodekstrin.

Secara statistik, hipotesis empiris di atas dapat dijabarkan sebagai berikut :

H0 : $\mu_1 = \mu_2$

H1 : $\mu_1 \neq \mu_2$

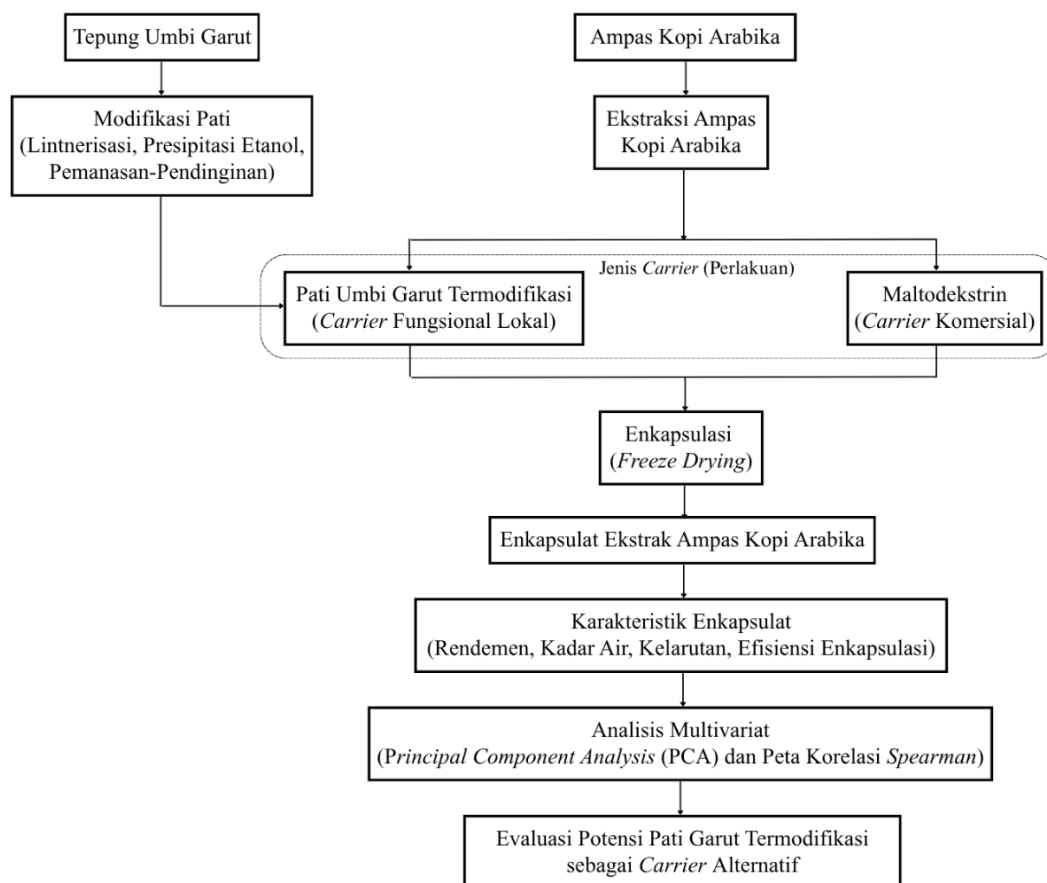
Kriteria pengujian analisis statistik yang digunakan adalah sebagai berikut :

Jika nilai signifikansi (*p-value*) $> \alpha$ (0,05), maka H0 diterima dan H1 ditolak, yang berarti tidak terdapat perbedaan nyata antara perlakuan.

Jika nilai signifikansi (*p-value*) $\leq \alpha$ (0,05), maka H0 ditolak dan H1 diterima, artinya terdapat perbedaan nyata antara perlakuan.

3.3.2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan meliputi pembuatan ekstrak ampas kopi arabika, pembuatan tepung pati umbi garut termodifikasi, dan pembuatan enkapsulat ekstrak ampas kopi arabika. Analisis data kemudian dilakukan untuk mengetahui hasil pengujian. Kerangka pikir penelitian secara umum disajikan pada Ilustrasi 4.



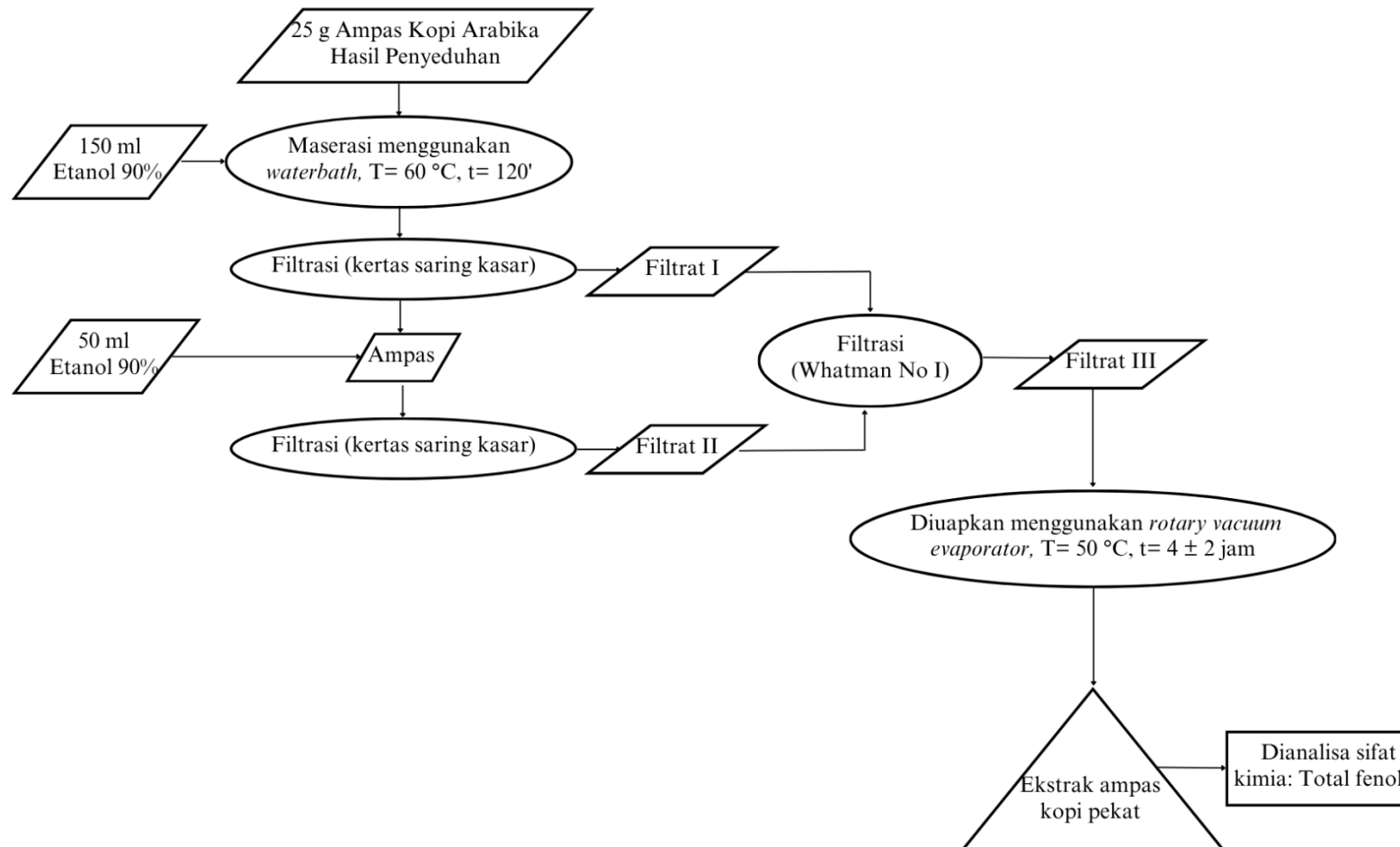
Ilustrasi 4. Kerangka Pikir Penelitian

3.3.2.1. Pembuatan Ekstrak Ampas Kopi Arabika

Prosedur penelitian ini diawali dengan pengumpulan ampas hasil penyeduhan 18 g bubuk kopi arabika dengan 100 mL air bersuhu 100 °C menggunakan alat espresso. Ampas yang diperoleh disimpan sementara dalam suhu refrigerator hingga digunakan pada proses ekstraksi. Langkah tersebut diulangi hingga jumlah ampas kopi yang dibutuhkan untuk penelitian terpenuhi.

Pembuatan ekstrak ampas kopi arabika mengacu pada penelitian yang dilakukan Juliantari *et al.* (2018). Sebanyak 25 g ampas kopi arabika dicampur dengan 150 mL etanol 90% (1:6) (b/v) lalu dilakukan proses maserasi selama 120

menit dengan *waterbath* pada suhu 60 °C. Rasio tersebut digunakan untuk memastikan kontak antara bahan dan pelarut berlangsung optimal sehingga senyawa bioaktif dapat terekstrak secara efektif. Menurut Juliantari *et al.* (2018), penggunaan etanol 90% dan suhu 60 °C mampu menghasilkan rendemen, kafein, dan total fenol tertinggi dari ekstrak ampas kopi robusta. Campuran kemudian disaring menggunakan kertas saring kasar untuk memperoleh filtrat I. Ampas hasil penyaringan diekstraksi kembali menggunakan 50 mL etanol 90% dan disaring untuk memperoleh filtrat II. Filtrat I dan II dicampur dan disaring menggunakan kertas saring Whatman No 1 untuk menghilangkan partikel halus yang tersisa. Filtrat yang diperoleh diuapkan menggunakan *rotary vacuum evaporator* pada suhu 50 °C sehingga diperoleh ekstrak pekat. Evaporasi dihentikan apabila pelarut etanol tidak menetes lagi. Ekstrak ampas kopi arabika pekat ditimbang dan diuji total fenol sebelum dilakukan proses enkapsulasi. Prosedur pembuatan ekstrak ampas kopi arabika disajikan pada Ilustrasi 5.



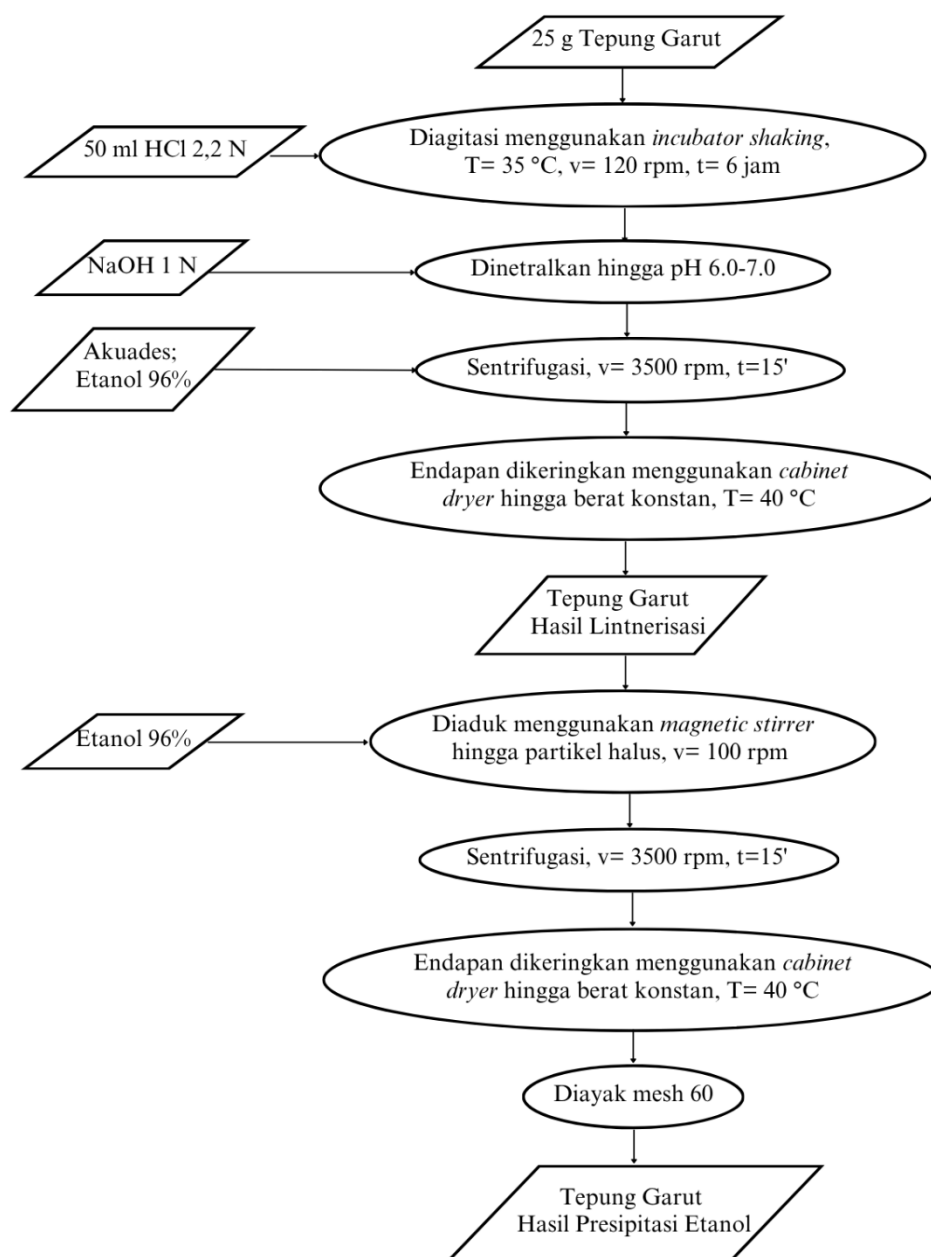
Ilustrasi 5. Diagram Alir Pembuatan Ekstrak Ampas Kopi Arabika

3.3.2.2. Pembuatan Pati Umbi Garut Termodifikasi

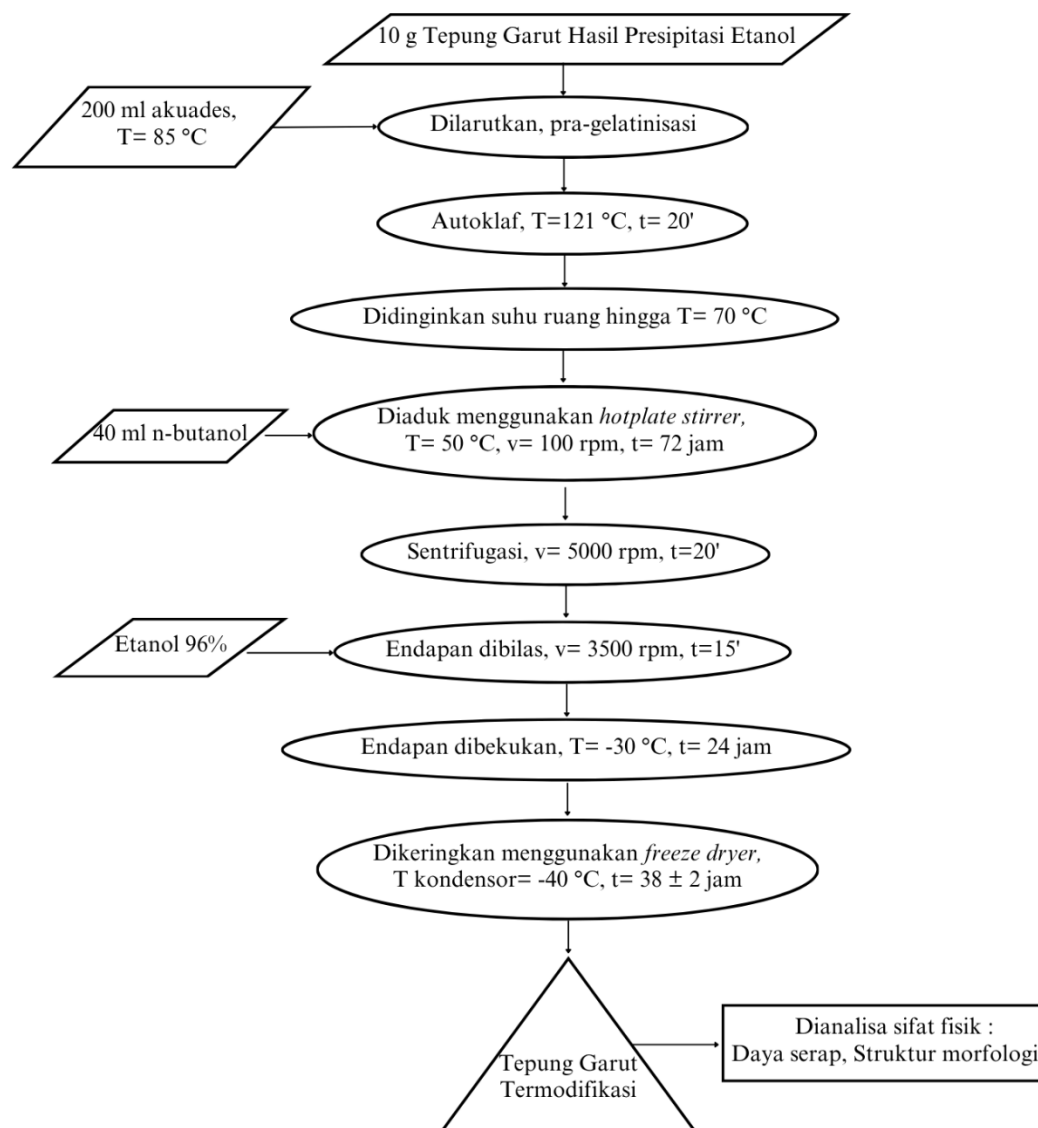
Pembuatan pati umbi garut termodifikasi melalui proses lintnerisasi dilanjutkan presipitasi etanol mengacu pada penelitian Winarti dan Sunarti (2022). Proses modifikasi diawali dengan 50% tepung garut didispersikan dalam HCl 2,2 N (rasio 1:2) (b/v) lalu diagitasi secara konstan dalam *incubator shaking* pada suhu 35 °C kecepatan 120 rpm selama 6 jam. Larutan pati hasil hidrolisis dinetralkan dengan NaOH 1 N sambil diaduk hingga pH 6.0–7.0 lalu dibilas menggunakan akuades dilanjutkan etanol 96% secara sentrifugasi dengan kecepatan 3500 rpm selama 15 menit. Endapan pati yang sudah netral dikeringkan dalam cawan petri menggunakan *cabinet dryer* pada suhu 40 °C hingga berat konstan. Selanjutnya, pati garut lintnerisasi ditambah etanol 96% setetes demi setetes diaduk perlahan menggunakan *magnetic stirrer* hingga partikel halus. Larutan pati disentrifugasi dan endapannya dikeringkan dalam cawan petri menggunakan *cabinet dryer* pada suhu 40 °C hingga berat konstan. Tepung garut hasil presipitasi etanol yang sudah kering diayak menggunakan mesh 60 lalu disimpan dalam wadah kedap udara.

Selanjutnya, mengacu pada penelitian Winarti *et al.* (2014) dengan modifikasi. 5% pati (10 g) garut hasil presipitasi etanol dilarutkan dalam 200 mL akuades (b/v) suhu 85 °C. Pati pra-gelatinisasi lalu diautoklaf pada suhu 121 °C selama 20 menit kemudian didinginkan pada suhu ruang hingga menjadi 70 °C. Larutan pati lalu ditambah 40 mL (20% (v/v)) n-butanol untuk menghasilkan fasa berbeda. Larutan diaduk perlahan menggunakan *hotplate stirrer* pada kecepatan 100 rpm dengan suhu 50 °C selama 72 jam. Larutan kemudian disentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm selama 20 menit. Endapan pati yang didapat dibilas

menggunakan etanol 96% 1-2 kali hingga jernih. Endapan pati dibekukan dalam *freezer* suhu $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ minimal 24 jam menggunakan *cup polypropylene* lalu di *freeze dryer* pada suhu kondensor $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga kering. Tepung umbi garut termodifikasi disimpan dalam wadah kedap udara dengan silica gel di suhu ruang. Prosedur pembuatan pati umbi garut termodifikasi disajikan pada Ilustrasi 6 dan Ilustrasi 7.



Ilustrasi 6. Diagram Alir Pembuatan Tepung Pati Umbi Garut Termodifikasi

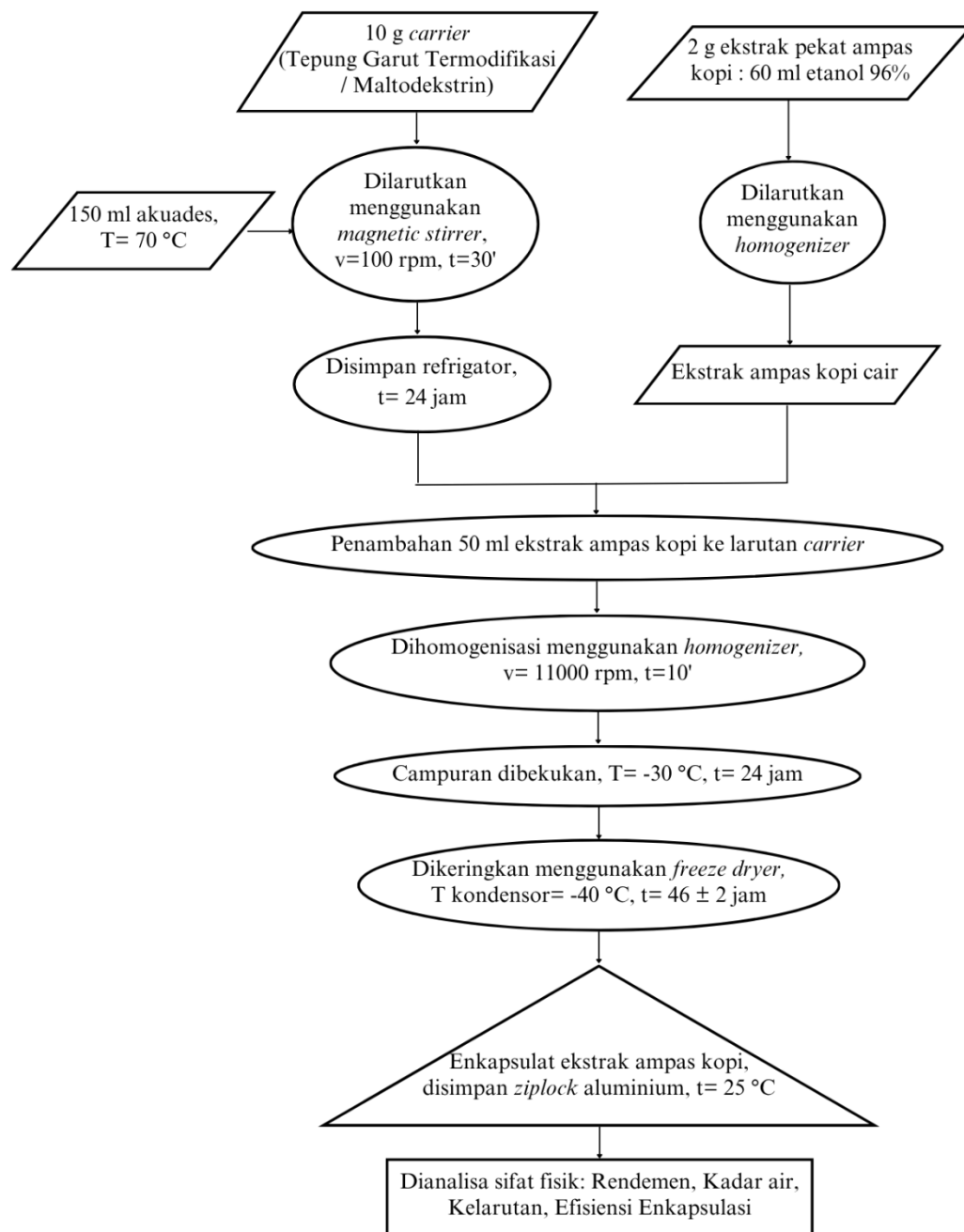


Ilustrasi 7. Diagram Alir Pembuatan Tepung Pati Umbi Garut Termodifikasi (Lanjutan)

3.3.2.3. Pembuatan Enkapsulat Ekstrak Ampas Kopi Arabika

Pembuatan ekstrak ampas kopi arabika terenkapsulasi mengacu pada penelitian Winarti *et al.* (2015), dengan modifikasi rasio 1 g : 5 mL (*carrier* : ekstrak ampas kopi). Sebanyak 10 g pati umbi garut termodifikasi dilarutkan dalam 150 mL (1:15) akuades bersuhu 70 °C diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Larutan pati kemudian disimpan di refrigerator semalaman. Selanjutnya, 2 g

ekstrak pekat ampas kopi dilarutkan dalam 60 mL etanol 96% dengan rasio 1:30 (b/v). Sebanyak 50 mL larutan ekstrak ampas kopi arabika ditambahkan ke larutan pati dan dihomogenisasi menggunakan homogenizer Ultra-Turrax pada kecepatan 11000 rpm selama 10 menit hingga membentuk suspensi berbuih. Prosedur yang sama diterapkan kepada enkapsulasi dengan *carrier* maltodekstrin. Campuran enkapsulasi dibekukan dalam *freezer* -30 °C minimal 24 jam dengan ketebalan 1 cm ke dalam *cup polypropylene* lalu di *freeze dryer* pada suhu kondensor -40 °C hingga kering. Enkapsulat kering disimpan pada *ziplock* aluminium suhu ruang hingga dilakukan pengujian. Parameter yang diamati meliputi rendemen, kadar air kelarutan, dan efisiensi enkapsulasi. Prosedur pembuatan enkapsulat ekstrak ampas kopi arabika disajikan pada Ilustrasi 8.



Ilustrasi 8. Diagram Alir Pembuatan Enkapsulat Ekstrak Ampas Kopi Arabika

3.3.3. Uji Rendemen

Pengujian rendemen dilakukan sesuai metode AOAC (2005) dengan menghitung persentase berat serbuk enkapsulat ekstrak ampas kopi arabika

terhadap total padatan awal, yaitu jumlah ekstrak ampas kopi kering dan pati umbi garut yang digunakan sebagai *carrier*. Nilai rendemen dicantumkan dalam persen dan diperoleh melalui perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{bobot enkapsulat kering (g)}}{\text{bobot padatan awal (g)}} \times 100\%$$

3.3.4. Uji Kadar Air

Pengujian kadar air berdasarkan metode gravimetri (AOAC, 2005) dengan prinsip mengeringkan bahan dalam oven pada suhu 105 °C hingga berat konstan. Cawan porselin yang digunakan sebagai wadah sampel dioven pada suhu 105 °C minimal 2 jam. Cawan dipindahkan ke dalam desikator selama 15 menit hingga mencapai suhu ruang dan ditimbang bobot cawan kosong (A). Sebanyak 1 g (B) bubuk enkapsulat dimasukkan ke dalam cawan dan dipanaskan pada suhu 105 °C selama 3 jam dalam oven. Setelah 3 jam, cawan dipindahkan dengan alat penjepit ke dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang hingga konstan. Pengeringan dilanjutkan kembali selama 60 menit dan ditimbang kembali hingga bobot konstan (C) yaitu memiliki selisih berat minimal $\leq 0,02$ mg. Kadar air dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{B - C}{B - A} \times 100\%$$

Keterangan:

A = Berat cawan kosong (g)

B = Berat cawan + sampel awal (g)

C = Berat cawan + sampel kering (g)

3.3.5. Uji Kelarutan

Pengujian kelarutan (*solubility*) berdasarkan do Carmo *et al.* (2022) dengan modifikasi. Sebanyak 0,5 g sampel dilarutkan dalam 50 mL akuades (rasio 1:100) suhu ruang dan diagitasi menggunakan *shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 30 menit lalu disentrifugasi 3750 rpm selama 5 menit. Sebanyak 25 mL supernatan yang didapat dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C hingga berat konstan. Kelarutan dihitung melalui perhitungan berikut:

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{\text{berat padatan terlarut dalam supernatan (g)} \times 2}{\text{berat sampel awal (g)}} \times 100\%$$

3.3.6. Uji Efisiensi Enkapsulasi

Pengujian efisiensi enkapsulasi dihitung berdasarkan Sadiah *et al.* (2022) yaitu perbandingan total kandungan fenol ekstrak ampas kopi terenkapsulasi (Ek) terhadap total kandungan fenol ekstrak sebelum enkapsulasi (Et). Efisiensi enkapsulasi dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi Enkapsulasi (\%)} = \frac{E_k \left(\frac{\text{mg GAE}}{\text{g}} \right)}{E_t \left(\frac{\text{mg GAE}}{\text{g}} \right)} \times 100\%$$

Keterangan:

Ek = total fenol ekstrak ampas kopi terenkapsulasi (mg GAE/g)

Et = total fenol ekstrak ampas kopi (mg GAE/g)

3.4. Analisis Data

Data hasil pengujian diperoleh dari tiga kali ulangan pada setiap perlakuan, kemudian dihitung nilai rata-rata $\pm$ simpangan baku menggunakan *Microsoft Excel*. Data disajikan dalam bentuk diagram untuk mempermudah interpretasi. Parameter

rendemen, kadar air, kelarutan, dan efisiensi enkapsulasi dianalisis secara statistik aplikasi IBM SPSS Statistics 25.0 *for Windows*.

Uji prasyarat analisis dilakukan melalui uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk dan uji homogenitas menggunakan Levene's *test*. Apabila data terdistribusi normal dan homogen ($\text{sig} > 0,05$) maka analisis dilanjutkan menggunakan uji parametrik t dua sampel (*independent samples t-test*) dengan asumsi varians sama (*equal variances assumed*) pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Apabila nilai signifikansi (*p-value*) $\geq 0,05$ maka tidak terdapat perbedaan signifikan antarperlakuan, sedangkan jika *p-value* $< 0,05$, maka terdapat perbedaan signifikan. Sementara itu, apabila data tidak terdistribusi normal ($\text{sig} < 0,05$) maka analisis dilanjutkan menggunakan uji nonparametrik Mann-Whitney pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Kriteria pengambilan keputusan didasarkan pada nilai Asymp. Sig. (2-tailed), yaitu $p > 0,05$ menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan, sedangkan $p \leq 0,05$ menunjukkan terdapat perbedaan signifikan.

Selanjutnya, untuk mengetahui hubungan antarvariabel dan menentukan parameter dominan yang memengaruhi kualitas enkapsulat, dilakukan analisis *principal component analysis* (PCA). PCA digunakan untuk mereduksi dimensi data sehingga pengelompokan (*clustering*) antarulangan maupun antarparameter berdasarkan kontribusinya terhadap keragaman total dapat diamati. Hasil PCA divisualisasikan dalam bentuk *loading plot* dan *score plot* menggunakan aplikasi *Chemoface* for Windows. Hubungan antarvariabel dianalisis menggunakan korelasi Spearman yang diolah dengan perangkat lunak Python melalui Google Colaboratory dan divisualisasikan dalam bentuk peta korelasi.